发现新型环境有机污染物的基本理论与方法

阮 挺 江桂斌*

中国科学院生态环境研究中心 北京 100085

摘要 20世纪以来化学污染物导致的人类健康危害日益突出，数以万计的高生产量化学品伴随着生产和使用进入环境介质，给环境科学相关领域研究提出了若干新的科学问题。文章介绍了发现新型有机污染物研究方向设立的背景和科学意义，讨论了判别新型有机污染物分子结构、环境行为特征的基本原则，阐述了定量结构—性质关系模型预测、疑似目标/非目标分析、效应导向分析方法框架的技术思路和优势。对于新型有机污染物识别、行为和效应的深入探索，将为引领学科方向发展、完善化学品风险评估标准、揭示环境污染物的毒性和健康危害机制发挥重要的支撑作用。

关键词 持久性有机污染物，化学品，风险评估，健康效应，筛选识别理论，分析方法，环境化学行为

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20200915004

1 化学品快速增长造成健康危害

20 世纪以来，人工化学品合成和使用的增速显著。截至 2015 年 6 月，美国化学文摘社（Chemical Abstracts Service，CAS）登记的包括有机物、金属、配位化合物、聚合物、盐类等在内的化学品达到 1 亿种；短短 4 年后的 2019 年，该数字增加为 1.5 亿种，平均每年新增化学品超过 1 200 万种[1]。我国环境保护部（现“生态环境部”）于 2013 年发布《中国现有化学物质名录》，其收录的化学物质已超过 4.5 万种[2]。

上述化学品经工业生产和生活使用后，不可避免地进入环境中而产生更为复杂的化学、生态和健康效应。实际上，近代工业污染催生了环境化学的发展。1962 年，《寂静的春天》（*Silent Spring*）的出版引起学术界对滴滴涕造成的野生生物发育损伤的高度关注；1996 年，《我们被偷走的未来》（*Our Stolen Future*）的出版再次引发了人们对环境内分泌干扰物健康影响的关注。环境保护研究经历了从常规大气污染

*通讯作者

资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（B类）（XDB14010400），国家重点基础研究发展计划（2015CB453100），国家自然科学基金（21527901、91843301、91743101）

修改稿收到日期：2020年11月5日

物（如二氧化硫、粉尘等）、常规水体污染物（如化学需氧量等）治理和重金属污染控制，到痕量持久性有机污染物（POPs）消减的循序渐进过程。

全球社会缔约使POPs从被动应对转向主动防御。基于对POPs的环境持久性（P）、长距离传输性（LRT）、生物富集性（B）和毒性（T）4个共有特性的高度关注，自2001年5月起包括中国在内的179个国家和地区签署并加入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》（以下简称《斯德哥尔摩公约》）。该公约对包括二噁英、滴滴涕在内的12种典型POPs物质实施禁止或限定使用[3]。从缔约国的数量上不仅能看出公约的国际影响力，更体现了世界各国对POPs污染问题的重视程度；同时，这也标志着人类在世界范围内对POPs污染控制的行动从被动应对到主动防御的转变。

伴随着《斯德哥尔摩公约》的履约进程，针对POPs的分析方法、环境行为、生态风险和环境健康的研究越来越成为环境科学研究的热点。对研究对象的认识和理解也从对具有显著生态效应的经典POPs的确定和同族物的追踪，深入到对具有类似POPs物质特性的新型有机污染物的聚焦。特别是典型POPs物质的替代品的风险评估、管理和控制开始受到关注。这些新型环境有机污染物的共有特点包括：同时具有一项或多项POPs类物质的特征（环境持久性、长距离传输性、生物富集性、毒性），是目前正在大量生产使用的化合物，环境存量较高，以及生态风险和健康风险的数据累计尚不能满足风险管理标准等。上述新型有机污染物也对化学品安全评估体系的调整和完善提出了新的挑战。

新型有机污染物环境行为和健康风险的评估也是《斯德哥尔摩公约》的重要组成部分。作为一个开放性的公约，任何一个缔约方都可向公约秘书处提交将某一新型有机污染物纳入《斯德哥尔摩公约》受控的草案。自2013年至今共有多溴二苯醚、全氟辛基磺酸盐等16种新型有机污染物被列入《斯德哥尔摩公约》受控名单。目前，正在进行公约审查的候选物质还包括全氟己基磺酸及其盐和相关物质、得克隆和甲氧氯[3]。这些新型有机污染物在我国均有一定规模的生产、使用或排放。

我国新型POPs污染具有独特性。化学工业是我国的支柱产业之一。统计数据显示，2010年起我国化学工业产值跃居世界首位，超过国内生产总值（GDP）的10%[4]。作为化工产品大国，新型POPs在我国所引起的环境污染和健康风险问题比其他国家更加严重，也可能存在国外不受关注而在我国环境介质中广泛存在的新型污染物。对于这部分化合物所开展的研究工作有助于全面评估化学品安全监管的产业经济成本；为我国合理制定履行《斯德哥尔摩公约》政策、开展化学品风险管理行动提供科学依据；并为化学品替代技术的发展提供有效建议。另外，伴随着经济快速发展，产生污染导致的健康问题在我国的集中显现，新型POPs污染物的毒性与健康危害机制已成为近年来相关研究的热点问题。

2 发现新型有机污染物的关键科学问题

长期以来，我国学者研究中涉及的POPs均是由国外专家率先提出的，研究大多是探讨这些污染物在中国环境下的赋存行为、迁移规律、累积机理、毒性机制及健康危害和消减控制技术。根据我国的化学工业结构、地球化学特征、使用和排放差异等因素和特点，发现在我国环境中具有重要影响的新型污染物，将能逐步改变我国在本领域研究的被动跟踪局面。

2006年，经过充分的准备，环境化学与生态毒理学国家重点实验室正式提出在我国环境介质中筛选和发现新型污染物的研究方向。开始该方向的研究，首先需要回答下列关键科学问题：① 发展筛选理论和方法，制定识别策略和原则——如何判断并锁定具有

污染物特征的化合物结构？从哪里入手？② 建立环境样品微量分析方法——在没有标准品的条件下如何对痕量化合物进行浓度分析和结构确定？③ 确定污染物的环境化学行为——如何测试确定目标化合物的持久性、生物富集性、毒性特征？其归宿和环境意义如何？

3 新型有机污染物的基本识别原则

对新型有机污染物的筛选和判别，需考虑化学品排放和使用引发的环境影响能力、明确污染物的环境行为特征。综合而言，只有当市售化工产品满足以下 3 个要求时才可能对自然环境和生物产生重要影响 [5]：① 该化合物的物理-化学性质必须满足一项或多项 POPs 类物质的特性（环境持久性、长距离传输性、生物富集性、毒性）。② 该化合物必须具有一定的生产量和使用量。例如，3 000 t 挥发性有机物释放到大气中并达到基本平衡后，其在大气中的浓度仅为约 1 ng/m^3。一般将年产量大于 454 t 的物质称为高生产量物质，这些物质需受到关注。③ 该化合物需具有特定的使用和环境释放途径。例如，添加型溴代阻燃剂——多溴二苯醚在塑料制件中的使用、含氟表面活性剂产品中全氟烷基化合物的残留均可引发潜在的环境问题。

在上述 3 个条件中，对化合物环境化学行为影响最大的因素是该化合物的物理-化学参数。联合国环境规划署等国际权威组织对具有潜在 POPs 特性化合物的物理化学性质进行了明确的归类：① 当该化合物在水体、底泥和土壤中的半衰期（$T_{1/2}$）> 180 d 时，认为其具有环境持久性；② 当该化合物的过冷饱和蒸汽压（V_p）< 1 000 Pa，且大气氧化半衰期（AO $T_{1/2}$）> 2 d时，认为其具有长距离传输能力；③ 当该化合物的辛醇-水分配系数（log K_{OW}）> 5，且生物富集因子（BAF）或生物浓缩因子（BCF）> 5 000 时，则认为其具有生物富集能力[6-8]。

4 引导发现策略的分析方法框架

分析方法的研究是发现新型有机污染物的关键。其主要难点在于无特定的目标化合物，研究对象是复杂环境介质整体，所覆盖组分的复杂程度决定了多样化引导发现方法策略的重要性。集合样品前处理、仪器分析和数据挖掘的体系创新，对定量结构—效应关系模型、高分辨质谱疑似目标/非目标解析方法、效应导向分析等技术手段的综合应用是完成对研究对象的“全覆盖”、实现新型污染物发现“必然性”的可靠保证（图 1）。

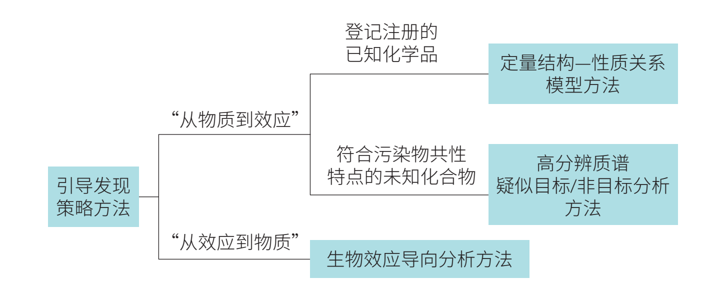


图 1　发现新型污染物的策略方法框架及其逻辑关系示意图

4.1 定量结构—性质关系模型方法

定量结构—性质关系（QSPR）方法的基本假设是化合物分子结构决定了物理-化学参数的变化；而物理-化学参数与实际环境行为存在密切关系。因此，在仅掌握化合物分子结构信息的基础上，利用理论计算得到物理-化学参数的集合，即可实现对具有潜在 POPs 特性污染物的识别和筛选。

物理-化学参数的预测是化学计量学研究的经典分支。方法的建立需要一系列分子的结构编码信息，以及各物质通过实验得到的实际物理-化学参数数据。将二者通过统计分析建立定量关系函数模型，继而预测具有类似官能团分子结构的新型化合物性质参数，具有简单、准确、高通量的特点。例如，辛醇-水分配系数（K_{OW}）和生物浓缩因子（BCF）与化合物分子官能团贡献存在一次线性回归函数关系[9]。

环境行为的预测也可基于计算得到的物理-化学性质参数进行展开。经济合作与发展组织（OECD）发布的多环境介质的逸度模型[10]，利用大气-水分配系数（K_{AW}）、辛醇-水分配系数（K_{OW}）、大气/水体/土壤半衰期（$T_{1/2}$）参数对化合物的环境持久性（P_{OV}）、长距离传输潜力（LRTP）和迁移效率（TE）进行评估，取得了较好的模拟预测效果。水生生物毒性的预测亦是如此。美国国家环境保护局发布的ECOSAR预测模型[9]通过大量的文献和实验毒性数据结果，定量描述了130种不同分子结构类型化合物的辛醇-水分配系数（K_{OW}）对鱼、水蚤、绿藻式动物的半致死浓度计量值（LC_{50}）之间的函数关系。

通过将分子结构信息统一编码，可对室内灰尘样本中可能存在的1 487种化合物[11]的物理-化学参数及其与POPs特性的相关性进行快速计算和预测（图2）。在总体化合物数据库中，具有生物富集能力、大气稳定性、可长距离传输的化合物分别占8.6%、9.0%和9.0%。同时具有环境持久性和生物富集能力的化合物有35种，其中32种为卤代化合物。该结果对于减少研究对象的数目、集中力量开展具有潜在POPs特性疑似物的环境行为调研和毒性测试研究具有重要意义。

4.2 高分辨质谱疑似目标/非目标分析方法

除了登记注册的已知化学品，新型有机污染物还可能包括新合成且尚未登记的人工化学品，经环境转化反应生成的化合物（如大气氧化反应二次生成的含羰基、硝基的多环芳烃类似物等），以及天然源化合物（如类雌激素、藻毒素等）。对于此类完全未知化合物的发现，更多的是总结污染物结构的共性特点，并通过仪器分析的方式展现。高分辨质谱可精确测量带电离子的荷质比，进而分析元素组成、获得化合物的分子式，在新型化学污染物结构解析过程中发挥着至关重要的作用。

高分辨质谱疑似目标/非目标分析方法与传统的目标分析方法存在显著差别（图3）[12]。目标分析必须依靠标准品获得化合物质谱信号，实现对目标化合物

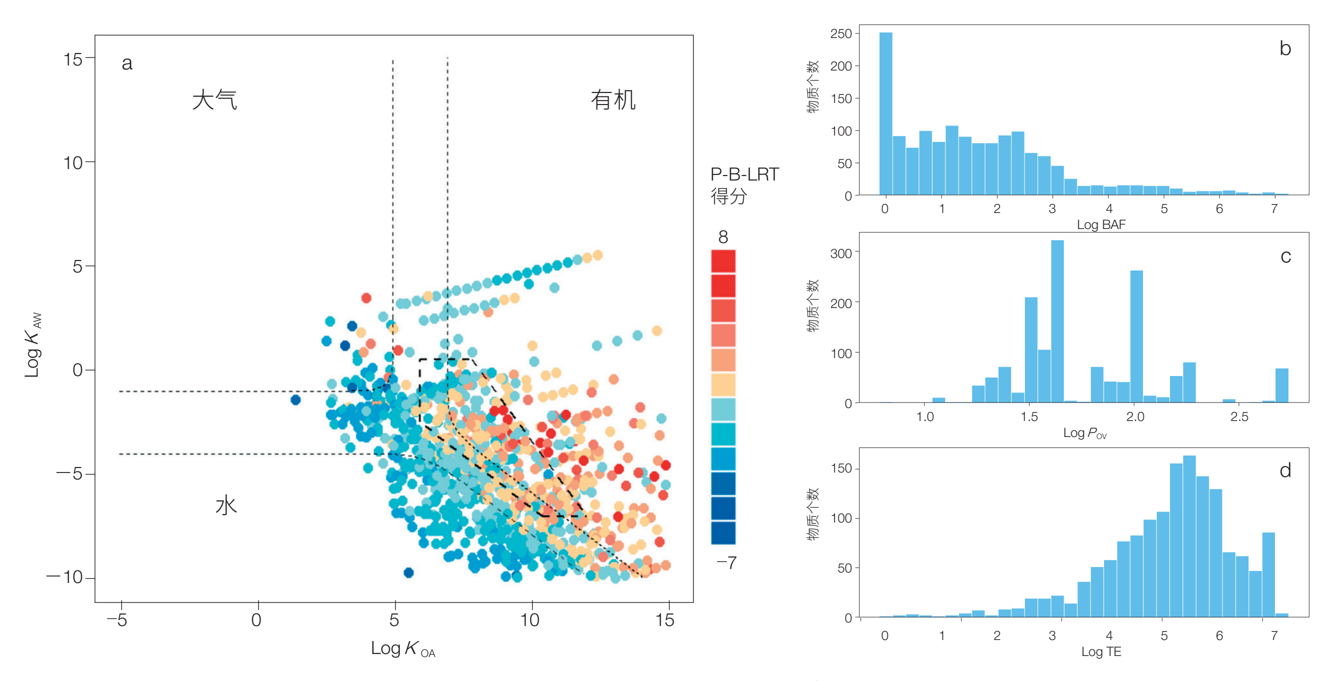


图2 化合物环境行为与物理-化学性质参数的关联性

（a）辛醇-大气分配系数和大气-水分配系数；其中，虚线分割的区域为化合物在大气、水、有机（土壤/植被）界面分配平衡的逸度模型预测结果；P-B-LRT得分是表征化合物环境化学行为与已知POPs物质相似度的相对量化值，高数值化合物的POPs特性更显著；（b）环境持久性；（c）生物富集因子；（d）迁移效率

的确认。在新型污染物研究对象未知且标准品难以获得等诸多情况下，该方法的应用存在一定局限性。不同的是，疑似目标/非目标分析方法不以特定目标物作为预设研究对象、无须依赖化合物标准品，而是针对整个环境样本中包含的化合物信息数据进行较为全面的分析，因而在新型有机污染物发现的研究中应用更为广泛[13]。常见疑似目标/非目标分析方法的样品准备过程较为简单，多采用具有广谱性的预处理和富集步骤。仪器分析主要采集样品的总离子流图并同步获取高丰度离子的二级质谱碎片信息。对获取的色谱和质谱数据进行深入挖掘是非目标分析方法的关键步骤，需要依据指定的实验方案和感兴趣的化合物类型灵活选取适当的数据筛选规则（如精确质量数比对、同位素丰度筛选、色谱保留时间和质谱二级碎片信息的数据库匹配及逐步剔除等）。

例如，对于全氟或多氟取代化合物而言，其分子的特点是氟原子的精确质量数与其正数质量数非常接近，因而化合物分子整体的质量缺陷值会集中在特定范围之内（$\Delta m = -0.150$—0.100 Da），即可在质谱信号上将全氟或多氟取代化合物与大量的碳氢化合物干扰信号区分开。借助上述特点，笔者课题组在我国污泥复杂基质样本上发现了 3 种氯代醚基磺酸（Cl-PFESAs）新型污染物[14]；后续研究显示，这 3 种污染物在我国环境介质中的残留浓度、生物富集能力、细胞毒性效应与最受关注的全氟取代污染物全氟辛基磺酸类似。

4.3 效应导向分析方法

效应导向分析（EDA）方法以生物学检测为核心，配合样品前处理、色谱分离和化合物表征流程，通过生物效应检测和多步分离纯化，最终实现主要效应污染物的浓度测定、结构鉴定和毒性确认[15]。该方法能够克服“从物质到风险”评价方法生物效应阳性检出效率低的缺点，是将分析化学与生物学检测体系有机结合的分析手段，能够为特定污染地区主要贡献污染物的筛查及未知有毒组分的识别提供宝贵的基础数据。

图 3　高分辨质谱疑似目标 / 非目标分析方法与传统的目标分析方法存在显著差别
疑似目标 / 非目标分析相比传统的目标分析方法，在检测分析物的范围和类型方面存在显著差异；对应地，在复杂基质前处理、仪器检测和数据处理等方法学流程方面也有所不同

效应导向分析的方法学流程大概包括 4 个步骤（图 4）。① *毒性测试流程*。生物学筛查终点可选择范围广泛，可包括生物个体测试，亦可包括细胞、菌株等体外毒性测试。选用的生物学筛查终点作为关键的“生物检测器”，贯穿于方法的各个阶段。② *组分提取流程*。关键要求是尽可能地对样本中的所有有机物进行无差别的广泛提取。分离流程可根据目标化合物的极性、分子量和修饰基团等性质多步分离，逐步获得贡献污染物。③ *毒性贡献污染物的鉴定流程*。具有活性效应组分中的贡献化合物需要结合核磁、质谱、光谱等多种化学表征手段进行结构鉴定和定量分析。④ *贡献污染物的毒性确认流程*。根据实际测定组分中的总体毒性，对组分中阳性检出化合物浓度的毒性贡献值进行

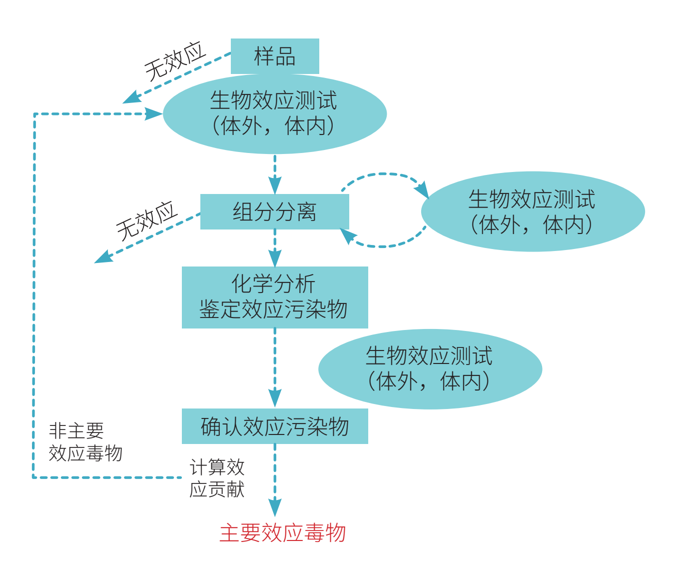


图4　效应导向分析的方法流程示意图
该方法对大气、土壤、水体、生物样本基质中的有机物均具有很好的兼容性

量化回溯分析，在实际样本中总体毒性贡献占比大的检出物即视为关键致毒物。

效应导向分析方法已经在新型化合物筛选和未知有机污染物发现方面得到成功应用。例如，笔者课题组成功完成了某阻燃剂生产厂附近河流底泥中神经毒性效应物的鉴定。样品经加速溶剂萃取提取和凝胶排阻色谱净化后，通过硅胶固相萃取小柱粗分为 F1 和 F2 组分。以小鼠小脑颗粒神经元细胞作为生物评价模型，发现 F2 组分具有显著的神经毒性。以反向制备色谱对其进行细分并每隔 1 min 收集馏分。结果显示 F2.17 馏分为毒性组分。借助紫外检测器和质量检测器对该组分进行分析，确定四溴双酚 A 双丙烯基醚为主要的效应污染物[16]。

4.4 小结

综上所述，通过近 10 年的探索，笔者课题组初步形成了发现新型有机污染物的分析方法框架；发现文献上从未报道的氮杂环溴代阻燃剂、四溴双酚类衍生物、全氟碘烷等新型环境污染物，共计 17 大类 161 种单体；并引领了若干新结构污染物在分析方法、演变趋势、转化规律、生物富集、毒性效应和健康风险方面的深入研究。然而，发展高效、普适的发现新型污染物的分析方法体系仍是未来环境化学研究的前沿科学问题，其中引导发现方法策略的持续创新是关键，这需要继续深化化合物信息数据库的构建、定向识别表征等技术思路的整合和拓展。

5 展望

*（1）随着高分辨质谱的普及，疑似目标/非目标分析方法的影响力将日益扩大。*该方法在化合物分子结构确认、不依赖标准品的数据回溯解析和针对环境样本信息的全面分析能力方面优势明显。未来的污染物痕量分析技术在很大程度上会摒弃传统的目标分析方法，而更强调疑似目标/非目标分析方法在大数据获取及与其他学科（如基因组学、代谢组学、表观遗传学等）领域的关联扩展。美国国立卫生研究院联合美国国家环境保护局正在开展的“Toxicology in the 21st Century”（Tox21）研究计划[17]，以及欧盟组织的新型环境物质监测参考实验室、研究中心及相关组织网络（NORMAN Network）[18]，均高度关注疑似目标/非目标分析方法体系的发展，及其在非常规、新型有机污染物的赋存、迁移和暴露风险表征方面的应用。我国同样需要加大在化学品安全评估基础研究和应用研究方面的支持力度。集国内优势研究机构科研力量，发展具有 POPs 特性新型污染物识别的早期预警研究体系，充分发挥先进分析技术在优先控制污染物筛选和管理、污染源排查、重大环境污染事件评估和应急处理方面的关键作用。

*（2）化学分析将与生物效应评估更加深度地融合。*由于化学品的毒性效应特点差异显著，不同物质相互作用又会产生复合效应，开发快速、系统性方法以准确地鉴定出复杂基质中的主要毒性效应组分是现代毒理学研究的重要方向。特别是近年来新型环境污染物激增，污染物交互作用更为复杂，现有的毒理学数据已经远不能满足解决实际问题的需要。因而，

如何快速、准确、低成本地对大量污染物及混合物进行毒性测试和健康风险评估就显得尤为重要。其中，对自动化、高通量的化学分析与毒性效应评估流程的仪器平台（ITA）研制，以及对其应用发展的持续投入，是实现上述目标的关键。

（3）环境化学与健康科学研究的交叉创新将更加重要。生命科学研究的经验显示，人的健康状态或疾病结局由遗传因素和环境因素共同决定[19]。例如，北欧双生子队列研究结果发现环境因素对肿瘤的贡献率可达 80%，而遗传因素仅占约 10%[20]。“暴露组学”（exposome）的提出突出了对环境因素评价的关注。其概念包含从胚胎到生命终点的整个周期内化学污染物在内、外暴露过程的总记录。其中，发展高效分析技术并寻找合适的暴露标志物，以便于借助暴露指纹探索复杂环境过程导致疾病发生的机制是有待环境化学领域专家攻克的技术难点。

参考文献

1 江桂斌, 阮挺, 曲广波. 发现新型有机污染物的理论与方法. 北京: 科学出版社, 2019: 66.

2 中华人民共和国生态环境部. 中国现有化学物质名录. [2020-09-01]. http://www.mee.gov.cn/ywgz/gtfwyhxpgl/hxphjgl/wzml.

3 United Nations Environmental Programme. Stockholm Convention. [2020-09-01]. http://pops.int.

4 陈会明. 化学品安全监管应提升为国家战略. 检验检疫学刊, 2012, 22(1): 1-13.

5 Muir D C G, Howard P H. Are there other persistent organic pollutants? A challenge for environmental chemists. Environmental Science & Technology, 2006, 40(23): 7157-7166.

6 United Nations Environmental Programme. Final act of the Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Geneva: United Nations Environmental Programme, 2001: 44.

7 Environment Canada. Toxic Substances Management Policy. Ottawa: Government of Canada, 1995: 8.

8 United States Environmental Protection Agency. Proposed category for persistent, bioaccumulative, and toxic chemicals. Federal Register, 1998, 63: 53417-53423.

9 United States Environmental Protection Agency. Kowwin Technique Note, Estimation Program Interface (EPI) Suite, V 4.10. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 2007.

10 Wegmann F, Cavin L, MacLeod M, et al. The OECD software tool for screening chemicals for persistence and long-range transport potential. Environmental Modelling and Software, 2009, 24(2): 228-237.

11 Rostkowski P, Haglund P, Aalizadeh R, et al. The strength in numbers: Comprehensive characterization of house dust using complementary mass spectrometric techniques. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2019, 411(10): 1957-1977.

12 林泳峰, 阮挺, 江桂斌. 发现新型化学污染物的技术途径. 中国科学：化学, 2018, 48(10): 1151-1162.

13 Escher B I, Stapleton H M, Schymanski E L. Tracking complex mixtures of chemicals in our changing environment. Science, 2020, 367: 388-392.

14 Ruan T, Lin Y F, Wang T, et al. Identification of novel polyfluorinated ether sulfonates as PFOS alternatives in municipal sewage sludge in China. Environmental Science & Technology, 2015, 49(11): 6519-6527.

15 Schuetzle D, Lewtas J. Bioassay-directed chemical analysis in environmental research. Analytical Chemistry, 1986, 58(11): 1060A-1075A.

16 Qu G B, Shi J B, Wang T, et al. Identification of tetrabromobisphenol A diallyl ether as an emerging neurotoxicant in environmental samples by bioassay-directed fractionation and HPLC-APCI-MS/MS. Environmental

Science & Technology, 2011, 45(11): 5009-5016.

17 Tice R R, Austin C P, Kavlock R J, et al. Improving the human hazard characterization of chemicals: A Tox21 update. Environmental Health Perspectives, 2013, 121(7): 756-765.

18 Hollender J, Schymanski E L, Singer H P, et al. Nontarget screening with high resolution mass spectrometry in the environment: Ready to go? Environmental Science & Technology, 2017, 51(20): 11505-11512.

19 Vermeulen R, Schymanski E L, Barabási A L, et al. The exposome and health: Where chemistry meets biology. Science, 2020, 367(6476): 392-396.

20 冷曙光, 郑玉新. 基于生物标志物和暴露组学的环境与健康研究. 中华疾病控制杂志, 2017, 21(11): 1079-1081.

Basic Theory and Analytical Methodology for Identification of Novel Environmental Organic Pollutants

RUAN Ting JIANG Guibin*

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract Since the twentieth century, the health hazards caused by chemical pollutants have become increasingly prominent. Tens of thousands of high throughput chemicals have entered into the environment along with the massive production and use, raising emerging scientific issues for research in environmental science related fields. In this article, background and scientific significance of establishing the research direction on identification of novel organic pollutants are introduced. Basic principles of discriminating molecular structures and environmental behaviors of pollutant candidates with regard to the characteristics of persistent organic pollutants are discussed. Technical strategy and advantages of the established analytical frameworks, including quantitative structure-property relationship model prediction, suspect/non-targeted analysis, and biological effect-directed analysis, are further described. In-depth exploration on occurrence, behavior and effects of novel organic pollutants will play a crucial supportive role in leading the direction of discipline development, improving chemical risk assessment criterions, and revealing the toxicity and hazard mechanisms of environmental pollutants.

Keywords persistent organic pollutants, artificial chemicals, risk assessment, health effects, screening and identification theory, analysis method, environmental behavior



阮 挺 中国科学院生态环境研究中心研究员。主要研究方向为发现新型化学污染物的原理和分析方法。在引导发现的分析方法策略、高分辨质谱结构表征和解析、污染物归趋行为等领域开展较为系统的工作。应邀作为专家组成员参与制定联合国环境规划署《全氟磺酸污染物全球水体检测技术规范》，*Trac-Trends in Analytical Chemistry*特邀编辑。E-mail: tingruan@rcees.ac.cn

RUAN Ting Professor of State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences. His main research

*Corresponding author

interest focuses on theoretical principles and analytical methodologies for identification of novel environmental pollutants. Systematic work has been carried out in the areas of pretreatment method development, molecular structure characterization, environmental fate, and behaviors. He was a member of expert group to draft and finalize the UNEP technical document *PFAS Analysis in Water for the Global Monitoring Plan of the Stockholm Convention: Set-up and Guideline for Monitoring*, and is the contributing editor of *Trac-Trends in Analytical Chemistry.* E-mail: tingruan@rcees.ac.cn



江桂斌　中国科学院院士，发展中国家科学院院士。中国科学院生态环境研究中心研究员，中国科学院大学资源与环境学院院长，环境化学与生态毒理学国家重点实验室主任。中国分析测试协会理事长，*Environmental Science & Technology*副主编。主要研究领域涉及化学形态、分析仪器、环境过程与毒理、纳米材料环境效应等，提出并推进了我国持久性有毒污染物的研究。E-mail: gbjiang@rcees.ac.cn

JIANG Guibin　Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), Fellow of the World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries. Professor of Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Dean, College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences. Director of the State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, and President, China Association for Instrumental Analysis. His main research areas involve chemical forms, analytical instrumentation, environmental processes and toxicology, environmental effects of nanomaterials, etc. He has proposed and promoted the study of persistent toxic pollutants in China.
E-mail: gbjiang@rcees.ac.cn

■责任编辑：文彦杰